



УДК 621.165

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПРОГРАММ ДЛЯ
ПРОГРЕВА СТОПОРНОГО КЛАПАНА НА
ГЛАВНОМ ПАРОПРОВОДЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL SUPPORT
OF PROGRAM ALGORITHMS FOR HEATING OF
STOP VALVE ON THE MAIN STEAM LINE OF
STEAM TURBINES DEVELOPMENT OF
SOFTWARE FOR A WARM-UP PERIOD, THE MAIN
STEAM STEAM TURBINES**

Голошумова Вера Николаевна, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Бродов Юрий Миронович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Тимшина Яна Сергеевна, бакалавр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Тел.: (343)375-48-51

Vera N. Goloshumova, Cand. Tech. Sci., Associate Professor. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Yuri M. Brody, Dr.. Tech. In Science, Professor of the Department. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Yana S. Timshina, bachelor of science. "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia BN. Yeltsin, Russia, 620002, city of Ekaterinburg, ul. Mira, 19. E-mail: turbine66@mail.ru, Phone: (343) 375-48-51

Аннотация: Актуальное направление совершенствования технологии эксплуатации энергоблоков на ТЭС являются работы по полной или частичной автоматизации пуска – остановочных режимов теплотехнического оборудования. Для этого разрабатывается математическое обеспечение алгоритмов программ непрерывного управления параметрами пара и нагрузкой в переходных энергоблоках. Современные вычислительные устройства и комплексы средств компьютерного инженерного моделирования позволяют объединить локальные модели паропроводов с дренажами и байпасами, стопорных и регулирующих клапанов, корпусов цилиндра высокого давления в турбины в одной задаче термонапряженного состояния. При моделировании процесса на компьютере ограниченной мощности в реальном времени необходимы упрощения.

Abstract: The actual direction of improvement of technology power plant reactors in operation are working on a full or partial automation of transitional modes of operation. This software is developed to program algorithms of continuous steam settings and control load when launches and stops generating units. Modern computing devices and computer modeling of engineering complexes allow you to combine local models of steam pipeline with drains and bypass, locking and regulating valves, cylinder casing of high pressure turbine in one task thermostressed condition. When modeling the process on computer limited power in real time is required.

Ключевые слова: пуск; энергоблок; вычислительные устройства; моделирование; прогрев; нестационарное температурное поле; стопорный клапан.

Key words: start; power unit; computing devices; modeling, warming up; non stationary temperature field; check valve.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время повышаются требования к маневренности энергоблоков на ТЭС. Маневренность энергоблоков это комплексное понятие. Оно включает в себя совершенствование технологии эксплуатации за счет уменьшения продолжительности пуска энергоблока из различных исходных тепловых состояний, прежде всего для основного теплотехнического оборудования - турбин и парогенераторов [1].

Наиболее актуальным направлением совершенствования технологии эксплуатации оборудования ТЭС являются работы по полной или частичной автоматизации переходных режимов работы паротурбинных установок.

В переходных режимах существенным является обеспечение надежной работы, при минимальных любых производственных потерях в промежуточном звене, соединяющего парогенератор и турбину в блок. Для этого разрабатывается математическое обеспечение алгоритмов программ непрерывного управления параметрами пара и нагрузкой при пусках и остановках энергоблоков.

«Типовая инструкция по пуску из различных тепловых состояний и останову моноблока мощностью...» делит пуск и последующее нагружение энергоблока на три основных этапа:

1. – подготовка к началу пуска турбоустановки;
2. – прогрев главных трубопроводов, разворот ротора турбины с доведением частоты вращения до 3000 об/мин и синхронизация;
3. – собственно пуск.

ОБЪЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ГЛАВНОГО ПАРОПРОВОДА

Для второго этапа пуска характерны многочисленные и разноплановые логические операции (включение дымососов и вентиляторов, розжиг мазутных форсунок, подача пара на уплотнения, прогрев главного паропровода, т.п.). Операции на этом этапе должны выполняться «при идеальном обслуживании» одновременно, что не только приводит к сокращению общего времени пуска блока, но и к уменьшению потерь теплоты и электроэнергии при пуске. На этом этапе операции, особенно при сложных тепловых схемах энергоблоков, очень длительны и трудоемки.

Объектами моделирования должны быть: участок паропровода с главной паровой задвижкой (ГПЗ) и её байпасом, дренаж; стопорный клапан (СК), регулирующий клапан (РК).

Опыт эксплуатации показывает, что при «ручных» пусках блоков на выполнение одинаковых операций затрачивается разное время. Например,

можно найти на форумах интернета живые диалоги о том, что для энергоблока 200 МВт прогрев парогенератора и главного паропровода занимает от 1,5 до 6 ч, а длительность разворота турбогенератора в составляет от 15 до 1 ч.

Это объясняется тем, что для конструирования, эксплуатации, наблюдению за техническим состоянием трубопроводов на электростанциях существуют лишь правила и инструкции: «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов», «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды», «Типовая инструкция по эксплуатации трубопроводов тепловых электростанций», «Типовое руководство по эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды ТЭС» и т.д.

В указанных документах нет конкретных технологических указаний по выдерживанию максимально допустимой скорости прогрева главных трубопроводов.

Указание о *медленном и осторожном открытии байпаса* недопустимо, так как должна указываться либо скорость открытия вентилем в оборотах на единицу времени, либо величина изменения лимитирующего показателя.

Эта *осторожность* определяется тем, что в начальной стадии пуска, когда прогрев происходит при конденсации пара и коэффициент теплоотдачи очень высок, допустимая скорость прогрева может быть обеспечена выбором степени открытия байпаса. По мере прогрева паропровода, когда теплообмен при конденсации переходит к конвективному и коэффициент теплоотдачи уменьшается в несколько раз, скорость прогрева паропровода также снизится в несколько раз.

Автором получено [2], трехмерное нестационарное температурное поле и термонапряженное состояние СК в заданные моменты времени, используя для расчетов метод конечных элементов и инструмент ANSYS.

Результаты расчета температурного поля получены с учетом зависимости теплофизических свойств для стали 15Х1М1Ф от температуры, реальной геометрической формы СК.

Методика моделирования [1-3] предполагает, что используются граничные условия третьего рода на границах СК и паровой среды; тепловая изоляция и трубопроводы не моделируются в расчетной модели но конечно-элементная сетка предельно мелкая.

Для идентификации расчетной модели были использованы экспериментальные данные пуска из холодного состояния турбины Т-110/120-130 на одной из ТЭЦ, температуры измерялись термомпарами в шести точках СК. На рис 1 приведена схема замеров температур металла корпуса СК, и обозначения: $\alpha_{фл}$, $\alpha_{пк}$ – коэффициенты теплоотдачи от пара к фланцу и

паровой коробке; $t_{СК}$ – температура пара в СК; $t_{КР}$ – температура крышки СК; $p_{СК}$ – давление в СК; $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ – точки замера температур

металла. N – мощность турбины; n – частота вращения ротора;

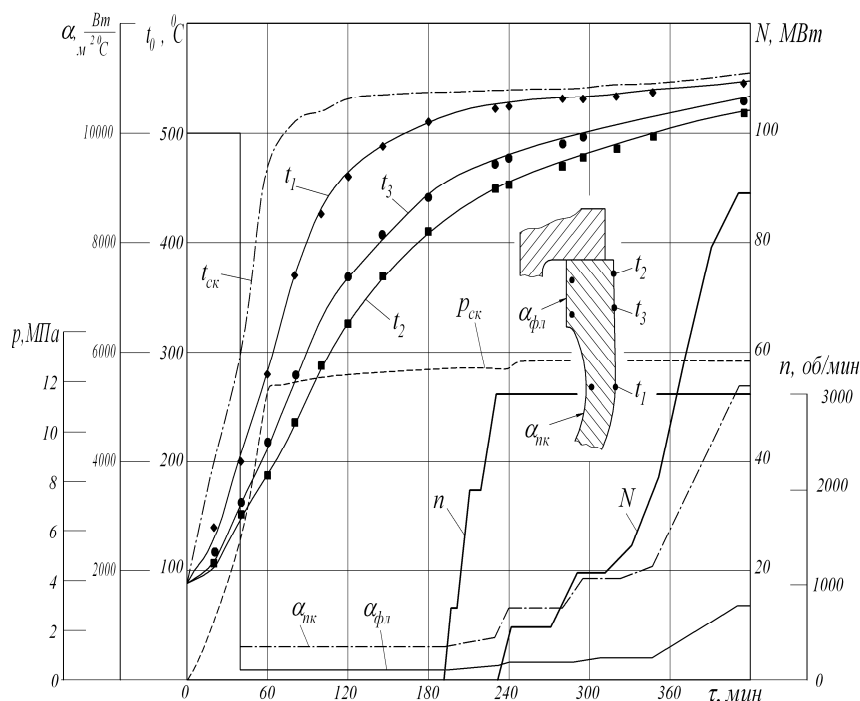


Рис. 1. Результаты экспериментального пуска из холодного состояния турбины Т-110/120-130 на одной из ТЭЦ

На рис. 2 в качестве примера приведена конечно-элементная модель для расчета температурного поля ЦВД турбины Т-53/67-8,0 и СК турбины Т-110/120-130 УТЗ.

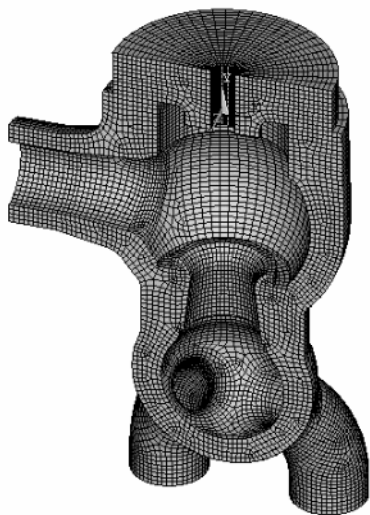


Рис. 2. Конечно-элементная модель расчета температурного поля СК паровой турбины Т-110/120-130.

Максимальная разность расчетных и экспериментальных температур в контрольных точках не превысила 150°C . На рис. 3 приведены результаты расчетов температурного поля СК. За рамками выполненной работы [2] остались вопросы о влиянии вида ограничений перемещений СК при его прогреве во время

пуска, максимально допустимой скорости прогрева трубопроводов и РК (промежуточных деталей между СК и ЦВД).

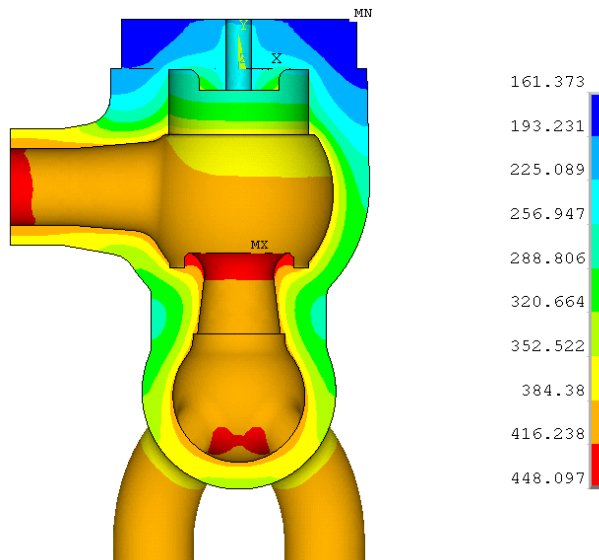


Рис. 3. Температурное поле стопорного клапана паровой турбины Т-110/120-130 через 60 мин после начала пуска

Единая конечно-элементная модель для расчета температурного поля ЦВД паровой турбины, (металл + паровое пространство), СРК, трубопроводов покрытых изоляцией, которая разработана специалистами из Alstom [4], она приведена на рис. 4.

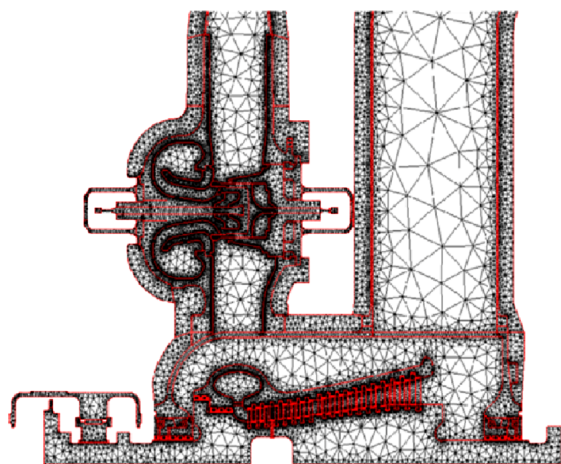


Рис. 3. Конечно-элементная модель расчета температурного для паровой турбины Alstom KA 26-1 IP.

В статье описана методика одновременного естественного остывания указанных выше узлов энергоблока с учетом их теплового взаимодействия. При проведении расчетов используется гипотеза о «сверхпроводимости» внутри турбинной полости в пределах парового пространства. Основная идея этой гипотезы – введение скалярной функции $K_j(T)$, на которую умножают теплопроводность каждого конечного элемента в пределах парового пространства $\lambda_{air}(T)$, чтобы получить такой же эффект теплопередачи как от эффекта «конвекция+излучение». Точность расчетов при сравнении с данным эксперимента не более 12-15 °C.

Очевидно, что использование объединенной модели исключает использование её для непрерывного контроля за термонапряженным состоянием на компьютере ограниченной мощности в реальном времени. Принципы упрощения «точных» моделей до «рабочих» разработаны и представлены в статье [1].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТОПОРНОГО КЛАПАНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ОПИРАНИЯ

Стопорные клапаны [5] паровой турбины Т-100/120-130 находится в стороне от турбины под площадкой обслуживания, над ней выступает только фланец, на который устанавливается автоматический затвор, управляющий клапаном Корпуса СК крепятся на гибкие «листы-опоры», образуя в её центре относительно фундамента турбоустановки и не препятствуя тепловому расширению корпуса.

Проведен расчет нестационарного температурного поля по графику прогрева с рис1. Геометрическая модель была принята осесимметричной.

Для описания упругопластических свойств материала стали 15Х1М1Ф была использована билинейная зависимость напряжений от деформаций с учетом кинематического упрочнения, которая задавалась командой *BKIN*. Точка перелома такой двухзвенной кусочно-линейной кривой соответствует пределу текучести.

Проверены два варианта опирания СК. В первом: заданы ограничения в четырех узлах (в радиальном направлении $UX=0$): по штоку клапана и в зоне дренажа. Во втором задана жесткая заделка по крышке СК.

Расчет температурных напряжений по осесимметричной модели СК показал, что максимальные напряжения во всех случаях находятся на внутренней поверхности корпуса в нижней части фланца (в зоне радиусного перехода фланца в паровую коробку)

Значение максимальных эквивалентных напряжений в СК не превышают допустимые. В всех случаях их максимумы достигаются в течении 20 минут. От 0 до 20 минут напряжения стремительно увеличиваются: достигают наибольших значений $\sigma = 306$ МПа (при закреплении по 4 узлам), что превышает предел текучести $\sigma_{0,2}^t = 304$ МПа, и $\sigma' = 299$ МПа (при жесткой заделке) и затем напряжения начинают плавно уменьшаться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голошумова В.Н. Управление пусковыми режимами теплофикационных паровых турбин в составе парогазовых установок/ В.Н. Голошумова, Ю.М.Бродов, И.Ю. Кляйнерок, А.А. Смирнов.// Теплоэнергетика. – 2012. – № 12. – С.1-9.
2. Ивановский А.А. Определение условий теплообмена в стопорных клапанах турбин УТЗ с давлением свежего пара 12,8 МПа/А.А. Ивановский, В.Л. Похорилер //Труды РНКТ- IV. М.: Издательский дом МЭИ, – 2006. – С.66-68
3. Кляйнерок И.Ю. Определение критических элементов конструкции паровой турбины, ограничивающих маневренность энергоблока/ И.Ю. Кляйнерок, В.Н. Голошумова, Ю.М. Бродов // Тяжелое машиностроение. – 2012. – № 4. – С.15-17.
4. Marinescu G., Natural Cooling and Startup of Steam Turbines: Validity of the Over-Conductivity Function/G. Marinescu, P. Stein, M. Sell, //Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Vol. 137, November 2015.
5. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода : Г. Д. Баринберг [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Бродова и В. В. Кортенко. - Екатеринбург : Чароид, 2007. - 459 с